

PAT-NO: JP410027921A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 10027921 A

TITLE: SEMICONDUCTOR WAVEGUIDE TYPE PHOTODETECTOR

PUBN-DATE: January 27, 1998

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

NISHIKATA, KAZUAKI

IRIKAWA, MASANORI

INT-CL (IPC): H01L031/10

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor waveguide type photodetector which is small in its coupling loss and high in its sensitivity.

SOLUTION: The semiconductor waveguide type photodetector 10 is of a laminated structure which includes a substrate 12 of n-InP, a first light confinement layer 14 of n-AlGaInAs having a thickness of about $3\mu\text{m}$ and a carrier concentration of about $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ and an energy band wavelength of about $1.25\mu\text{m}$, a non-doped light absorbent layer 16 of AlGaInAs having a thickness of about $0.4\mu\text{m}$ and an energy band wavelength of about $1.40\mu\text{m}$, a second light confinement layer 18 of p-AlGaInAs having a thickness of about $3\mu\text{m}$ and a carrier concentration of about $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ and an energy band wavelength of about $1.25\mu\text{m}$, a cladding layer 20, and a substrate 22 of p-GaInAs, a sequentially formed on the substrate. With such a structure. the photodetector has a mode field diameter of about $3\mu\text{m}$ or more which is substantially equal to the mode field diameter of such an optical component as optical fiber coupled with the photodetector and also has a large axis bias tolerance, whereby the element can receive light with a high sensitivity.

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-27921

(43)公開日 平成10年(1998)1月27日

(51)Int.Cl.⁶
H 0 1 L 31/10

識別記号 庁内整理番号

F I
H 0 1 L 31/10

技術表示箇所

A

審査請求 未請求 請求項の数3 F D (全 6 頁)

(21)出願番号 特願平8-199860

(22)出願日 平成8年(1996)7月10日

(71)出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72)発明者 西片 一昭

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

(72)発明者 入川 理徳

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

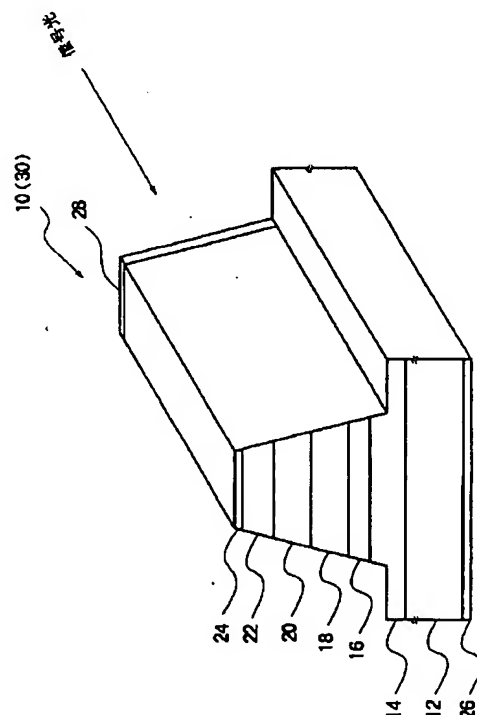
(74)代理人 弁理士 稲垣 清 (外2名)

(54)【発明の名称】 半導体導波路型受光素子

(57)【要約】

【課題】 結合損失の少ない高感度の半導体導波路型受光素子を提供する。

【解決手段】 本半導体導波路型受光素子10は、 n -InPからなる基板12上に、順次、形成された、キャリア濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ で、エネルギーバンドの波長が $1.25 \mu\text{m}$ の n -AlGaInAsからなる厚さ $3 \mu\text{m}$ の第一光閉じ込め層14、エネルギーバンドの波長が $1.40 \mu\text{m}$ のノンドープAlGaInAsからなる厚さ $0.4 \mu\text{m}$ の光吸収層16、キャリア濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ でエネルギーバンドの波長が $1.25 \mu\text{m}$ の p -AlGaInAsからなる厚さ $3 \mu\text{m}$ の第二光閉じ込め層18、クラッド層20、及び、 p -GaInAsからなる基板22の積層構造体を備えている。以上の構成により、本受光素子は、モードフィールド径が $3 \mu\text{m}$ 以上になって、受光素子に結合される光ファイバー等の光部品のモードフィールド径とほぼ等しくなり、かつ軸ずれトレランスが大きくなるので、高感度で受光できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板上に、順次、形成された一の導電性を有する第一の半導体層と、第一の半導体層よりも小さいバンドギャップエネルギーを有し、 $0.2\mu\text{m}$ から $0.5\mu\text{m}$ の範囲の層厚のノンドープ層からなる第二の半導体層と、第二の半導体層よりも大きいバンドギャップエネルギーを有し、かつ第一の半導体層と逆の導電性を有する第三の半導体層とからなる積層構造を有することを特徴とする半導体導波路型受光素子。

【請求項2】 第一の半導体層のバンドギャップ波長と第二の半導体層のバンドギャップ波長との差及び第三の半導体層のバンドギャップ波長と第二の半導体層のバンドギャップ波長との差が、それぞれ、 $0.3\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1に記載の半導体導波路型受光素子。

【請求項3】 第一の半導体層の厚さ及び第三の半導体層の厚さが、それぞれ $2\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項1又は2に記載の半導体導波路型受光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体導波路型受光素子に関し、更に詳細には、受光感度が高く、かつ低歪及び広帯域の半導体導波路型受光素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体導波路型受光素子は、低キャリア濃度の光吸収層の上下にP型の導電層、及びN型の導電層をそれぞれ配置して形成したPN接合を備え、P型導電層とN型導電層の間に逆バイアス電圧を印加して低キャリア濃度の光吸収層を空乏化し、この空乏層内に生じる高電界を利用して、導波路構造体の入射側端面から光吸収層に入射した信号光を光電変換するものである。すなわち、半導体導波路型受光素子は、信号光を入射側端面から半導体導波路を経由して光吸収層に導波し、導波された入射光によって発生した空乏層内の励起キャリアを光電流として検出するものである。励起キャリアは、空乏層内で発生し、空乏層の高電界によって分離され、ドリフトして、ホールはP型導電層に、電子はN型導電層に、それぞれ、到達し、光電流の発生に寄与する。

【0003】半導体導波路型受光素子、即ち半導体導波路型光検出器（以下、簡単に光検出器と言う）は、信号光の波長選別性、高速性及び広帯域性を備え、かつ発光素子と同一ような構造、形状である等の多くの利点を有している。しかし、従来の光検出器は、光ファイバ等の光導波体との結合に際し、光ファイバ内での光の導波径（モードフィールド径）と光検出器の内の光のモードフィールド径を一致させることが難しいため、そこで結合損失が起こることが問題視されていた。

【0004】光ファイバと光検出器との二つのフィールド系の光学的整合は、光の結合損失を小さくするために

非常に重要である。ここで、光学的整合にとって重要な二つのフィールド系のモードフィールド径の整合について検討する。異なる二つの系のモードフィールド径をそれぞれ $W1$ 及び $W2$ とし、モードフィールド同士の軸ずれ量を δ とするとき、モードフィールドの結合係数 η は、1次元方向のみを考えて電界の重なり積分を実行すると、以下のように定式化されることが知られている。

$$\eta = 2 \cdot W1 \cdot W2 / \{ (W1)^2 + (W2)^2 \} \times \exp[-2\delta^2 / \{ (W1)^2 + (W2)^2 \}]$$

上記の式に基づいて、二つの異なる系のモードフィールド径の比と結合損失との関係を計算すると、モードフィールド径の比が約2倍であれば、結合損失は1dBとなり、モードフィールド径の比が3倍であれば、結合損失は約2.5dBになる。

【0005】また、内部量子効率を100%としたとき、モードフィールド径の比が2倍になると、波長 $1.3\mu\text{m}$ の信号光に対する受光感度は約 0.85A/W となり、モードフィールド径の比が3倍になると、受光感度は約 0.6A/W となる。

【0006】以上のことから、結合損失をできるだけ低くするためには、光ファイバ或いは石英導波路の端面から出射された光を同じモードフィールド径の光検出器で受けて、モードフィールド径の不一致を少なくする必要がある。そこで、光ファイバのモードフィールド径をある限度以下には出来ないことを考慮すると、モードフィールド径ができるだけ一致するようにするには、光検出器のモードフィールド径を大きくする必要があり、そのためには、光吸収層の厚さを光ファイバ或いは石英導波路から出射される光の径に対応して $4\mu\text{m}$ 以上の厚さに成長させることが必要になる。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかし、クラッド層、光吸収層等をエピタキシャル成長させた積層構造からなる半導体導波路型光検出器では、 $4\mu\text{m}$ 以上の厚い光吸収層をエピタキシャル成長させることが技術的に容易ではなく、厚い光吸収層を作製することにより、モードフィールド径の不一致を抑制することは実用的には困難である。そこで、この課題を解決するために、例えば特開平4-241272号公報に示されているように、光吸収層を $0.15\mu\text{m}$ 以下にして光の閉じ込めを弱くし、モードフィールド径を広げる方法が提案されているが、この方法では、光吸収層に高電界が作用し、トンネル電流が発生してツェナーブレイクダウンが生じるなどの問題があった。

【0008】本発明は、上記問題点に鑑みてなされたもので、結合損失の少ない高感度の半導体導波路型受光素子を提供することを目的としている。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明者は、この目的を達成するために、半導体導波路型受光素子の導波路のモ

ードフィールド径と、光吸収層及び光閉じ込め層の各々の厚さ及びバンドギャップ波長との関係について、以下のように、鋭意、シュミレーション及び解析実験を重ねた。先ず、パラメータとして光吸収層と光導波路内の組成と厚さを変化させ、受光素子の導波路内の光のモードフィールド径（導波径）と光吸収層の厚さの関係を研究した。図1は、その関係を示すグラフである。図1のグラフ(1)は、光吸収層及び光閉じ込め層のバンドギャップ波長がそれぞれ $1.35\mu\text{m}$ 及び $1.25\mu\text{m}$ 、上下の光閉じ込め層の厚さがそれぞれ $2\mu\text{m}$ 及び $3\mu\text{m}$ の際の光吸収層の厚さとモードフィールド径との関係を示している。また、グラフ(6)は光吸収層及び光閉じ込め層のバンドギャップ波長がそれぞれ $1.65\mu\text{m}$ 及び $1.05\mu\text{m}$ 、上下の光閉じ込め層の厚さがそれぞれ $1\mu\text{m}$ 及び $1\mu\text{m}$ の際の光吸収層の厚さとモードフィールド径との関係を示している。図1によれば、光吸収層の厚さが、 $1\mu\text{m}$ から $0.5\mu\text{m}$ 以下に薄くなると、モードフィールド径は急激に大きくなる。逆に、光吸収層の厚さが、 $1\mu\text{m}$ より厚くなるにつれて、光吸収層の厚さと直線関係にあるモードフィールド径（原点を通る直線）に漸近する。また、GaInAs（波長 $\lambda=1.65\mu\text{m}$ ）で光吸収層を形成した場合、光吸収層の屈折率が光閉じ込め層に対して非常に大きくなるので、光の閉じ込めがきつくなり、光吸収層の厚さと導波径の厚さがほぼ等しくなる。一方、光吸収層と光閉じ込め層のバンドギャップ波長が近い場合（屈折率差が近い場合）、光閉じ込め層の厚さが厚くなるに従い、導波径は大きくなる。

【0010】以上をまとめると、光検出器のモードフィールド径を大きくするためには、

(1) 光吸収層の層厚を所望のフィールド径と同程度まで厚くする。

(2) 光吸収層のバンドギャップ波長と光閉じ込め層のバンドギャップ波長を近づけ、即ち屈折率差を小さくし、光閉じ込め層を厚くし、光吸収層厚を $0.5\mu\text{m}$ 以下に薄くする。

という2つの選択肢が考えられる。

【0011】ところで、光吸収層の層厚を厚くする

(1)の選択肢は、既に試みられた技術であって、前述のように、技術的な問題が存在する。そこで、本発明は、(2)の選択肢に基づいて、導波路型光検出器の導波路内のモードフィールド径が広がる構造を工夫して、高感度の光検出器を実現するものである。

【0012】上記目的を達成するために、本発明に係る半導体導波路型受光素子は、半導体基板上に、順次、形成された一の導電性を有する第一の半導体層と、第一の半導体層よりも小さいバンドギャップエネルギーを有し、 $0.2\mu\text{m}$ から $0.5\mu\text{m}$ の範囲の層厚のノンドープ層からなる第二の半導体層と、第二の半導体層よりも大きいバンドギャップエネルギーを有し、かつ第一の半

導体層と逆の導電性を有する第三の半導体層とからなる積層構造を有することを特徴としている。

【0013】以上の構成により、本発明に係る半導体導波路型受光素子の第一の半導体層及び第三の半導体層は光閉じ込め層の機能を果たし、第二の半導体層は光吸収層の機能を果たし、また、半導体導波路型受光素子のモードフィールド径が $3\mu\text{m}$ 以上になり、受光素子と結合される光ファイバ等の光部品のモードフィールド径とほぼ等しくなるので、高感度で受光できる。尚、第二の半導体層、即ち光吸収層の層厚を $0.2\mu\text{m}$ 以下にするのは、低電圧でツェナーブレイクダウンを生じ、また、光の閉じ込め係数が小さくなって光吸収層の実効的な吸収係数が小さくなるので、好ましくない。好適には、光閉じ込め層のバンドギャップ波長と第二の半導体層からなる光吸収層のバンドギャップ波長との差を $0.3\mu\text{m}$ 以下にする。

【0014】更には、第一の半導体層及び第三の半導体層からなる光閉じ込め層を $2\mu\text{m}$ 以上の厚さに設定する。これにより、以下に説明するように、異なる二つのモードフィールドの軸ずれトレランスが大きくなり、軸ずれが起きたときの感度の低下が小さいので、それだけ受光感度が向上する。図2は、横軸に光閉じ込め層の厚さ、縦軸に半導体導波路型受光素子のモードフィールド径と導波路内の最大次数をそれぞれ示し、光閉じ込め層の厚さを変えて行ったときのモードの最大次数の変化及びモードフィールド径の変化を示すグラフである。

尚、光閉じ込め層の厚さが $2.5\mu\text{m}$ のモードの最大次数及びモードフィールド径は、p型の光閉じ込め層の厚さを $2\mu\text{m}$ 、n型の光閉じ込め層の厚さを $3\mu\text{m}$ としたときのそれぞれの数値である。本発明に係る半導体導波路型受光素子の好適態様のように、光閉じ込め層が $2\mu\text{m}$ を越えると、最大次数は6になり、このため、軸ずれに対するトレランスが大きくなり、従って、受光感度の低下が起き難くなる。

【0015】

【発明の実施の形態】以下に、実施例を挙げ、添付図面を参照して、本発明の実施の形態を具体的かつ詳細に説明する。

実施例1

本実施例は、 $1.3\mu\text{m}$ の波長を持つ光を吸収し、 $1.55\mu\text{m}$ の波長を持つ光を吸収しないような波長選別機能を持たせた光検出器に本発明に係る半導体導波路型受光素子を適用した例である。図3は、本実施例の光検出器の模式的斜視図である。本実施例の半導体導波路型受光素子10は、導波路型光検出器10として構成され、図3に示すように、キャリア濃度が $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のn-InPからなる基板12上に、順次、形成された、キャリア濃度が $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ で、バンドギャップ波長が $1.2\mu\text{m}$ のn-AlGaInAsからなる厚さ $3\mu\text{m}$ の第一光閉じ込め層14、バンドギャップ波長

5

が1.40 μm のノンドープAlGaInAsからなる厚さ0.4 μm の光吸収層16、キャリア濃度が $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ でバンドギャップ波長が1.2 μm のp-AlGaInAsからなる厚さ3 μm の第二光閉じ込め層18、キャリア濃度が $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ のp-InPからなる厚さ2 μm のクラッド層20、キャリア濃度が $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ のp-GaInAsからなる基板22の積層構造体を備えている。第一光閉じ込め層14から基板22を含む半導体層は、基板12に格子整合して成長した半導体層である。

【0016】基板12上に、順次、上述した半導体層を結晶成長させて積層構造体を形成した後に、半導体層をエッチングによりストライプ状に加工し、誘電体膜を全面にわたり塗布し、パッシベーションを施した後に、基板22上の誘電体膜を除去した。次いで、基板22上にTi、Pt及びAuを蒸着し、50 μm 角になるように大きさを加工したP型オーミック電極24が形成されている。また、n型オーミック電極26が基板12の裏面に蒸着して形成されている。更に、光検出器10の光入射側端面にはSiNxからなる無反射膜28が蒸着されている。

【0017】モードフィールド径が6 μm の石英導波路と結合して1.3 μm の波長の光を受光した時の本光検出器10の感度は、0.9A/Wであった。また、モードフィールド径が8 μm の光ファイバと結合した時には、光検出器10の感度は、0.7A/Wであった。従って、このときの結合損失は、それぞれ、約85%であり、従来の導波路型受光素子において通常に用いられているGaInAsからなる厚さ1 μm の光吸収層を用いた場合に比べ、2倍以上の高感度が実現している。これは、本実施例の光検出器10の光吸収層16の厚さが0.4 μm であり、光吸収層16のバンドギャップ波長が1.40 μm で、一方第一光閉じ込め層14及び第二光閉じ込め層18のバンドギャップ波長が1.2 μm であるから、その差は0.2 μm になって、モードフィールド径が大きいこと、また、第一及び第二光閉じ込め層の厚さがそれぞれ3 μm と厚いので、軸ずれトレランスが大きいことに因る。

【0018】実施例2

本実施例は、1.55 μm の光を吸収する光検出器に本発明に係る半導体導波路型受光素子を適用した例である。図3は、実施例1と同様に、本実施例の光検出器30の模式的斜視図である。本実施例の光検出器30は、図3において、第一光閉じ込め層14が1.45 μm のバンドギャップ波長のn-GaInAsPで、光吸収層16が1.65 μm のバンドギャップ波長のノンドープGaInAsで、第二光閉じ込め層18が1.45 μm のp-GaInAsPで構成されていることを除いて、それぞれの層のキャリア濃度を含めて、実施例1の光検出器10と同じ積層構造及び電極構造を備えている。ま

6

た、光検出器30の光入射側端面にも、実施例1の光検出器10と同様にSiNxからなる無反射膜28が蒸着されている。

【0019】モードフィールド径が6 μm の石英導波路と結合して1.55 μm の波長の光を受光した時の本光検出器30の感度は、1.0A/Wであった。従って、このときの結合損失は、約80%であり、従来の導波路型受光素子において通常に用いられているGaInAsからなる厚さ1 μm の光吸収層を用いた場合に比べ、2倍以上の高感度が実現している。これは、本実施例の光検出器30の光吸収層16の厚さが0.4 μm であり、光吸収層16のバンドギャップ波長と第一光閉じ込め層14及び第二光閉じ込め層18のバンドギャップ波長との差が0.2 μm になって、モードフィールド径が大きいこと、また、第一及び第二光閉じ込め層の厚さがそれぞれ3 μm と厚いので、軸ずれトレランスが大きいことに因る。

【0020】以上の実施例では、クラッド層にInPを用いているが、GaInAsP、AlGaInAsなどの材料を用いても同様の効果が得られる。更に、光変調器や半導体レーザ等の他の導波路型光部品と一体になっている受光素子にも、本発明の構造を適用することができる。また、光変調器そのものにも本構造を適用することにより、結合損失の少ない光変調器を実現することが出来る。

【0021】

【発明の効果】本発明の構成によれば、光吸収層の層厚を0.2~0.5 μm の範囲に薄くすることにより、更には、光吸収層のバンドギャップ波長と光閉じ込め層のバンドギャップ波長を近づけ、即ち屈折率差を小さくすることにより、半導体導波路型受光素子のモードフィールド径を拡大して光ファイバ等の導波路のモードフィールド径との差を小さくし、更には、光閉じ込め層を厚くすることにより、軸ずれトレランスを大きくして、受光感度の高い半導体導波路型受光素子を実現している。

【図面の簡単な説明】

【図1】光閉じ込め層の厚さとモードフィールド径との関係を示すグラフである。

【図2】光閉じ込め層の厚さとモードフィールド径及びモードの最大次数との関係を示すグラフである。

【図3】本発明に係る半導体導波路型受光素子の実施例の積層構造を示す斜視図である。

【符号の説明】

- 10 本発明に係る半導体導波路型受光素子の実施例1
- 12 n-InPからなる基板
- 14 第一光閉じ込め層
- 16 光吸収層
- 18 第二光閉じ込め層
- 20 クラッド層
- 22 p-GaInAsからなる基板

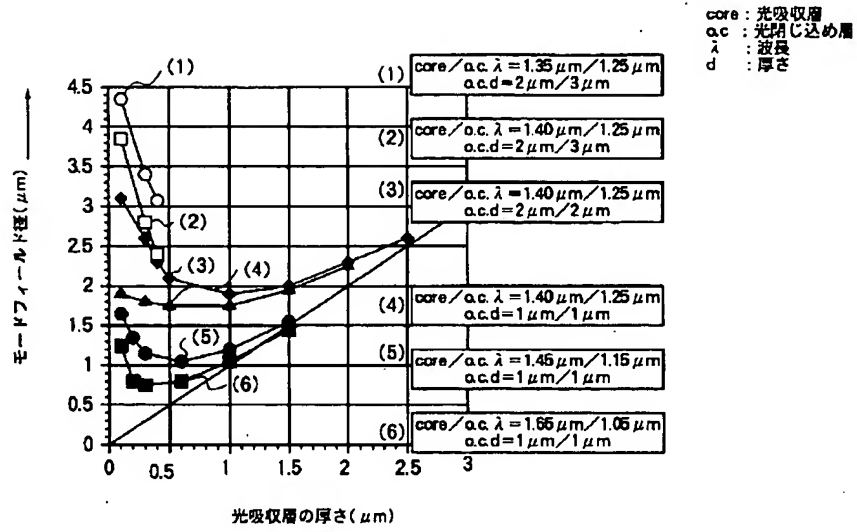
24 P型オーミック電極

26 n型オーミック電極

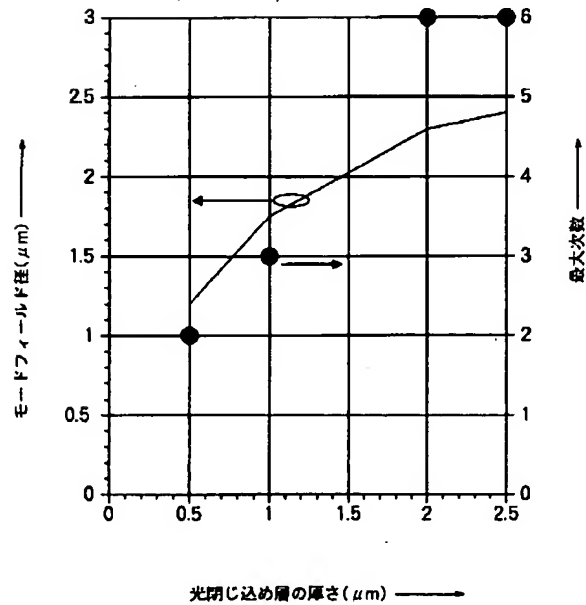
28 無反射膜

30 本発明に係る半導体導波路型受光素子の実施例2

【図1】



【図2】



(6)

特開平10-27921

【図3】

